GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA
MISCELLANEOUS REPORT 52

THE EFFECT OF CHANGING MAGNETIC DECLINATION ON THE COMPASS

L.R. Newitt

1991

Energy, Mines and Resources Canada Energy, Mines et Ressources Canada

Canada

THE ENERGY OF OUR RESOURCES

THE POWER OF OUR IDEAS

92-00757/

GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA
MISCELLANEOUS REPORT 52

THE EFFECT OF CHANGING MAGNETIC DECLINATION ON THE COMPASS

L.R. Newitt

1991

©Minister of Supply and Services Canada 1991

Available in Canada through

authorized bookstore agents and other bookstores

or by mail from

Canada Communication Group - Publishing
Ottawa, Canada K1A 0S9

and from

Geological Survey of Canada offices:

601 Booth Street
Ottawa, Canada K1A 0E8

3303-33rd Street N.W.,
Calgary, Alberta T2L 2A7

A deposit copy of this publication is also available for reference
in public libraries across Canada

Cat. No. M41-8/52
ISBN 0-660-56537-4

Price subject to change without notice

Critical Readers

R.L. Coles
G.V. Haines

Author's address

L.R. Newitt
Geophysics Division
Geological Survey of Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0E8

Original manuscript received: 90-04
Final version approved for publication: 91-01

CONTENTS

1 Introduction

1 Magnetic declination and secular variation

3 Magnetic declination and solar activity

5 Frequency of large declination changes

7 Conclusion

Figures

1 1a. A typical orienteering compass consisting of a baseplate, a capsule with a rotating dial marked from 0° to 360°, and a magnetized needle.

1 1b. The magnetic field that would be produced around a simple bar magnet located in the centre of the earth.

2 2. Chart showing lines of equal magnetic declination in Canada for the year 1990.

2 3. Secular variation of the magnetic declination at selected locations in Canada.

3 4. Typical quiet day variation of the magnetic declination recorded at Ottawa, October 13, 1989. Easterly changes are toward the top of the diagram; westerly changes are toward the bottom of the diagram. The vertical scale indicates the size of changes in the magnetic declination, in degrees of arc. Thus, between the peak and the trough of the curve, a change of 0.17° (10' of arc) has occurred. The horizontal scale gives the time of day, in Universal Time.

3 5. Location of the magnetic observatories in Canada. The five observatories used in this study are Victoria (VIC), Meanook (MEA), Yellowknife (YKC), Cambridge Bay (CBB), and Resolute Bay (RES). Also shown on the map are the location of the auroral zone and the north magnetic pole.

4 6. Variation of the magnetic declination during a typical magnetic storm, recorded at Ottawa, October 20, 1989.

4 7. Variation of the magnetic declination during a typical magnetic substorm, recorded at Fort Churchill, November 4, 1989. Note change in scale from Figure 4.

4 8. Area of compass unreliability. Heavily stippled area shows the region in which a compass is erratic. Lightly stippled area shows the region in which a compass is useless.

5 9. The diagram gives, for each of the five observatories, the percentage of days on which the departure of the magnetic declination from its normal value is greater than the amount indicated along the horizontal axis.

6 10. Probability that an observer will experience a fluctuation in magnetic declination anywhere in Canada in excess of (a) 0.5°, (b) 1.0°, (c) 2.0°, (d) 5.0°.

Table

5 1. Average daily range of magnetic declination during a quiet year (1976) and a disturbed year (1981).

THE EFFECT OF CHANGING MAGNETIC DECLINATION ON THE COMPASS

INTRODUCTION

The magnetic compass has been used for navigation for hundreds of years. At one time, it was the only reliable means of navigation on days when the sun and stars were not visible. Nowadays, sophisticated equipment is available that enables users to determine their bearing accurately and to pinpoint their location to within a few metres. However, such equipment has not made the compass obsolete. It is still the only practical tool for navigation for most small craft and for those on foot. Even airplanes and ships equipped with more sophisticated equipment carry a compass as a backup.

Compasses come in a variety of shapes and sizes depending on their intended use. The type of compass used on a ship or aircraft is a complex piece of equipment capable of compensating for both the motion of the craft and its metallic structure. At the other extreme are small pocket compasses of low precision intended for casual use. One of the most popular varieties is the orienteering compass (Fig. 1a), widely used by backpackers, canoeists and other outdoor enthusiasts.

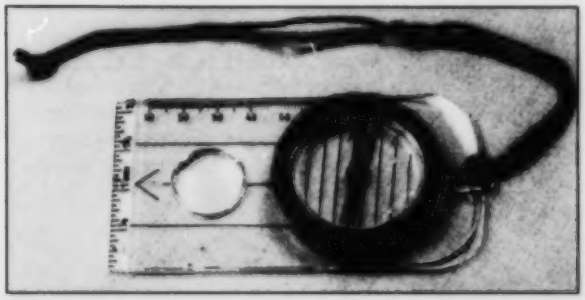

Figure 1a. A typical orienteering compass consisting of a baseplate, a capsule with a rotating dial marked from 0° to 360°, and a magnetized needle.

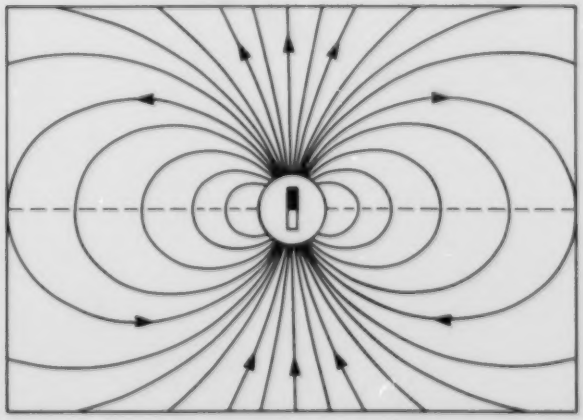

Figure 1b. The magnetic field that would be produced around a simple bar magnet located in the centre of the earth.

Regardless of their intended purpose or the complexity of their construction, most compasses operate on the same basic principle. A small, elongated, permanently magnetized needle is placed on a pivot so that it may rotate freely in the horizontal plane. The earth possesses a **magnetic field** shaped approximately like the field around a simple bar magnet (Fig. 1b). The earth's magnetic field exerts a force on the compass needle, causing it to rotate until it comes to rest in the same direction as the field. Over much of the earth, this direction is roughly north, hence the compass's early importance for navigation.

This simple process is complicated by the fact that the magnetic field is constantly changing in both strength and direction. This causes the orientation of a compass needle to change in a corresponding manner. Thus there is a fundamental uncertainty in compass navigation that may or may not be important, depending on its application by the user. This report describes some aspects of the magnetic field that can have an effect on compass navigation, and how to compensate for those effects and still ascertain a correct bearing.

MAGNETIC DECLINATION AND SECULAR VARIATION

Many people do not realize that a compass does not normally point true north, but at some angle east or west of true north. The direction in which the compass needle points is referred to as **magnetic north**, and the angle between magnetic north and the true north direction is called **magnetic declination**. You will often hear the terms "variation", "magnetic variation", or "compass variation" used in place of magnetic declination, especially by mariners. Figure 2 is a simplified chart showing lines of equal magnetic declination over Canada.

The magnetic declination does not remain constant. Due to complex fluid motion in the outer core of the earth (the molten metallic region that lies from 2800 km to 5000 km below the earth's surface), the magnetic field undergoes a continual slow change referred to as **secular variation** or secular change. As a result, the magnetic declination is continually changing. Examples of how the magnetic declination has changed with time at various locations in Canada are given in Figure 3. As a result of the secular variation, declination values shown on old topographic, marine and aeronautical charts need to be updated if they are to be used without large errors. Unfortunately, the annual change corrections given on most of these maps cannot be applied reliably if the maps are more than a few years old since the secular variation also changes in time in an unpredictable manner. If accurate declination values are needed, and if

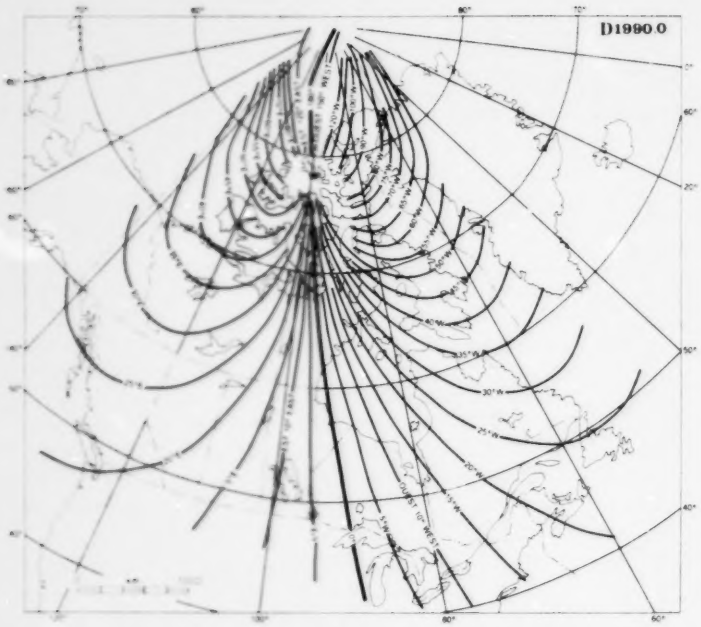

Figure 2. Chart showing lines of equal magnetic declination in Canada for the year 1990.

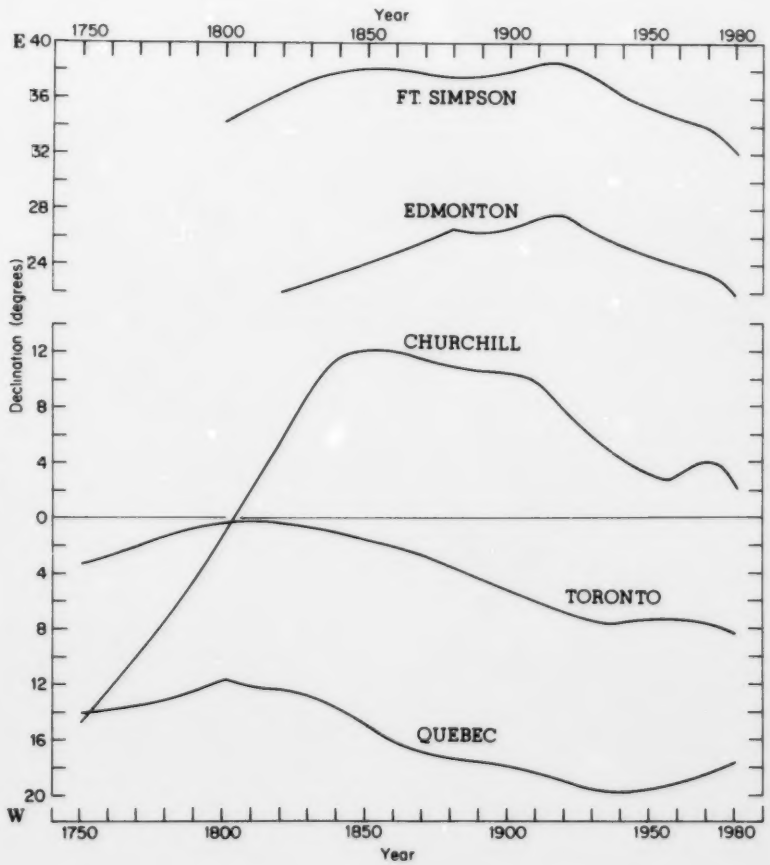

Figure 3. Secular variation of the magnetic declination at selected locations in Canada.

recent editions of the charts are not available, up-to-date declination values may be obtained from the Geological Survey of Canada, Geophysics Division, 1 Observatory Crescent, Ottawa, Canada, K1A 0Y3.

MAGNETIC DECLINATION AND SOLAR ACTIVITY

The magnetic field also undergoes changes that are much more rapid than the secular variation and are a result of solar activity. The processes by which the continual stream of particles emanating from the sun interacts with the earth's magnetic field and upper atmosphere are very complex but they result in continual fluctuations in the magnetic field with resultant changes in magnetic declination.

Scientists have numerous classifications for rapid fluctuations of the magnetic field which take into account such factors as the size and speed of the fluctuations and the physical processes responsible for them. However, the average compass user needs to be aware of only a few of these.

Even on days when solar activity is very low the magnetic field will undergo a smooth, cyclical change called the **daily variation**. Figure 4 shows the typical daily variation in magnetic declination for Ottawa Magnetic Observatory. Ottawa is in the subauroral zone, one of three zones that are characterized by distinctly different types of magnetic activity (Fig. 5). Note, in Figure 4, that the magnetic declination is most easterly in the morning and most westerly in the afternoon. Typically, in southern Canada, the maximum change in magnetic declination over the course of a day is several minutes of arc.

A number of times each year, the earth is affected by large disturbances of the magnetic field referred to as **magnetic storms**. The onset of a magnetic storm occurs almost instantaneously everywhere on the earth, and the storm may last for more than 48 hours. The magnetic field changes that occur during a storm differ from one location on earth to another, and from one storm to another. Changes in magnetic declination may at times be large enough to be detectable with a standard compass, especially at high latitudes. An observer may actually see a compass needle swing back and forth as the declination changes. Figure 6 shows changes in declination during a major magnetic storm.

In addition to worldwide magnetic storms, intense disturbances of much shorter duration occur quite frequently in the auroral zone (see Fig. 5 for location). Although they normally last for no more than a few hours and occur primarily at night, these disturbances can be quite intense (Fig. 7).

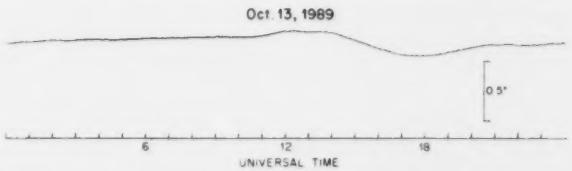

Figure 4. Typical quiet day variation of the magnetic declination recorded at Ottawa, October 13, 1989. Easterly changes are toward the top of the diagram; westerly changes are toward the bottom of the diagram. The vertical scale indicates the size of changes in the magnetic declination, in degrees of arc. Thus, between the peak and the trough of the curve, a change of 0.17° (10' of arc) has occurred. The horizontal scale gives the time of day, in Universal Time.

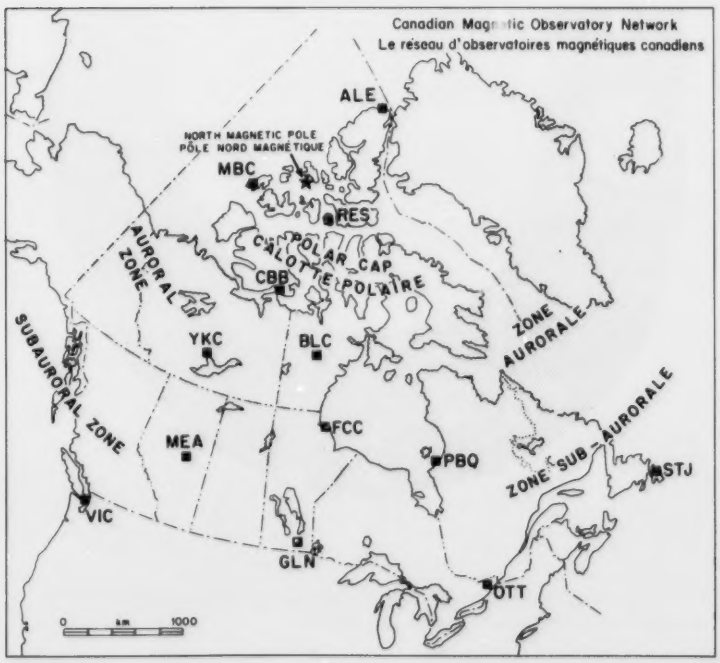

Figure 5. Location of the magnetic observatories in Canada. The five observatories used in this study are Victoria (VIC), Meanook (MEA), Yellowknife (YKC), Cambridge Bay (CBB), and Resolute Bay (RES). Also shown on the map are the location of the auroral zone and the north magnetic pole.

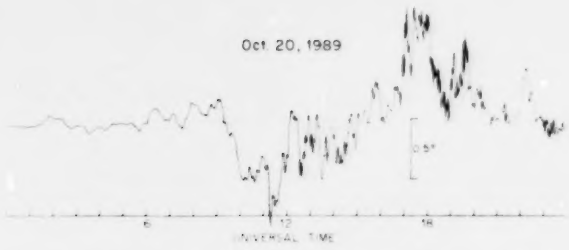

Figure 6. Variation of the magnetic declination during a typical magnetic storm, recorded at Ottawa, October 20, 1989.

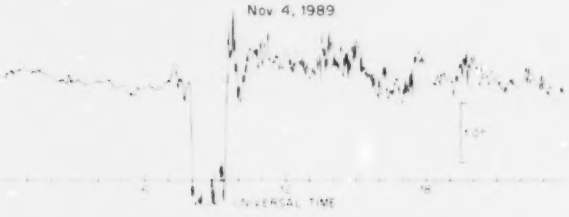

Figure 7. Variation of the magnetic declination during a typical magnetic substorm, recorded at Fort Churchill, November 4, 1989. Note change in scale from Figure 4.

Regardless of their cause, rapid fluctuations in the magnetic declination become larger as one approaches the **north magnetic pole**. This is because the **horizontal force** of the magnetic field becomes smaller as one approaches the pole. It is this horizontal force that causes the compass needle to align itself in the magnetic field direction. If this force is small, changes in the magnetic field will have a relatively greater effect on the declination than would be the case farther south where the horizontal force is large.

If the horizontal force is too small, an ordinary compass will become useless because the frictional forces in the compass will exceed the horizontal force of the magnetic field. As a general rule, standard pivot compasses become unreliable when the horizontal force of the magnetic field drops below 6000 nT, and useless when the horizontal force is less than 3000 nT. These regions are shown in Figure 8. In some aircraft, fluxgate magnetometers are used in place of mechanical compasses since they are immune to the effects of friction.

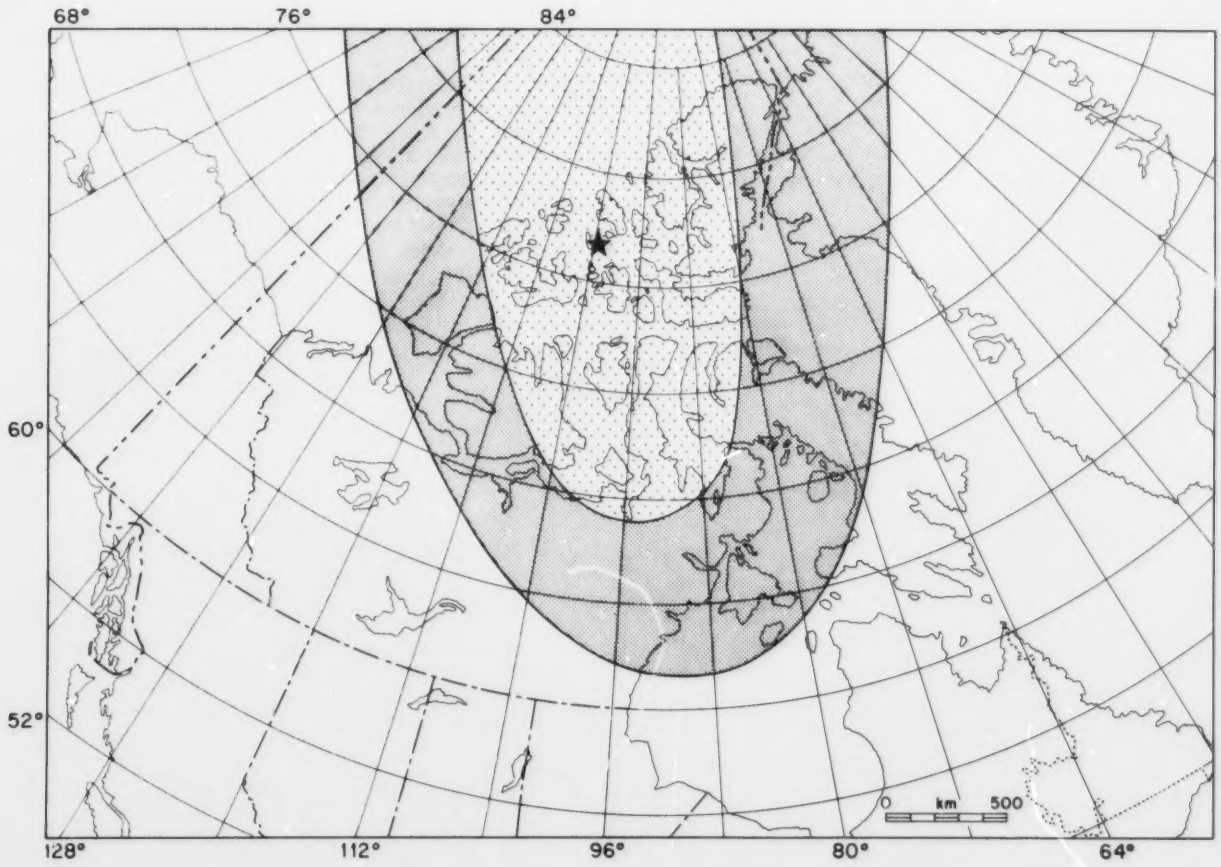

Figure 8. Area of compass unreliability. Heavily stippled area shows the region in which a compass is erratic. Lightly stippled area shows the region in which a compass is useless.

FREQUENCY OF LARGE DECLINATION CHANGES

How often does the magnetic declination depart from its normal value to such an extent that the departure might be of consequence to navigation? This will depend on where you are in the country. It will also depend on what size error can be tolerated for a given application. A standard compass, such as an orienteering compass or one that would be found in a small boat, has a precision of about 2 degrees. Some military compasses and those used by surveyors, on the other hand, have a much higher precision, on the order of 5 minutes of arc. Thus users of these high precision compasses should be concerned about much smaller changes in the magnetic declination than should users of standard compasses.

To show the magnitudes of fluctuations in magnetic declination in a variety of locations and conditions, data from five of the magnetic observatories shown in Figure 5 (VIC, MEA, YKC, CBB, RES) were examined. Data from two complete years, 1976 and 1981 were reviewed, and the difference between maximum and minimum values of magnetic declination on each day (the daily range) and the amount by which the maximum and minimum values of declination differed from the normal value on each day (referred to as the positive and negative departures) were calculated. This information is summarized in Table 1.

The table shows that the daily range is generally larger in 1981 than in 1976. This is a result of the approximately 11 year cycle that both solar and magnetic activity undergo. At the time of writing of this report, the current cycle of magnetic activity has almost reached its peak.

Table 1. Average daily range of magnetic declination during a quiet year (1976) and a disturbed year (1981).

	1976			1981		
Station	Range	+ve	-ve	Range	+ve	-ve
Victoria	0°15′	0°08′	0°07′	0°20′	0°11′	0°08′
Meanook	0°39′	0°22′	0°17′	0°55′	0°28′	0°22′
Yellowknife	2°11′	1°09′	1°02′	2°01′	1°01′	1°00′
Cambridge	4°39′	2°31′	2°08′	5°26′	3°17′	2°09′
Resolute	18°39′	8°14′	10°25′	22°28′	10°32′	11°56′

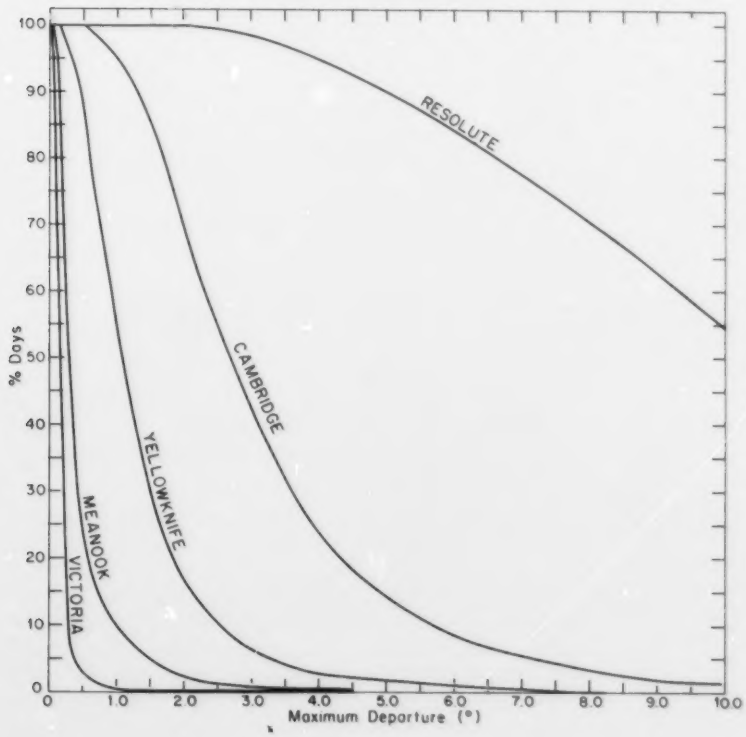

Figure 9. The diagram gives, for each of the five observatories, the percentage of days on which the departure of the magnetic declination from its normal value is greater than the amount indicated along the horizontal axis.

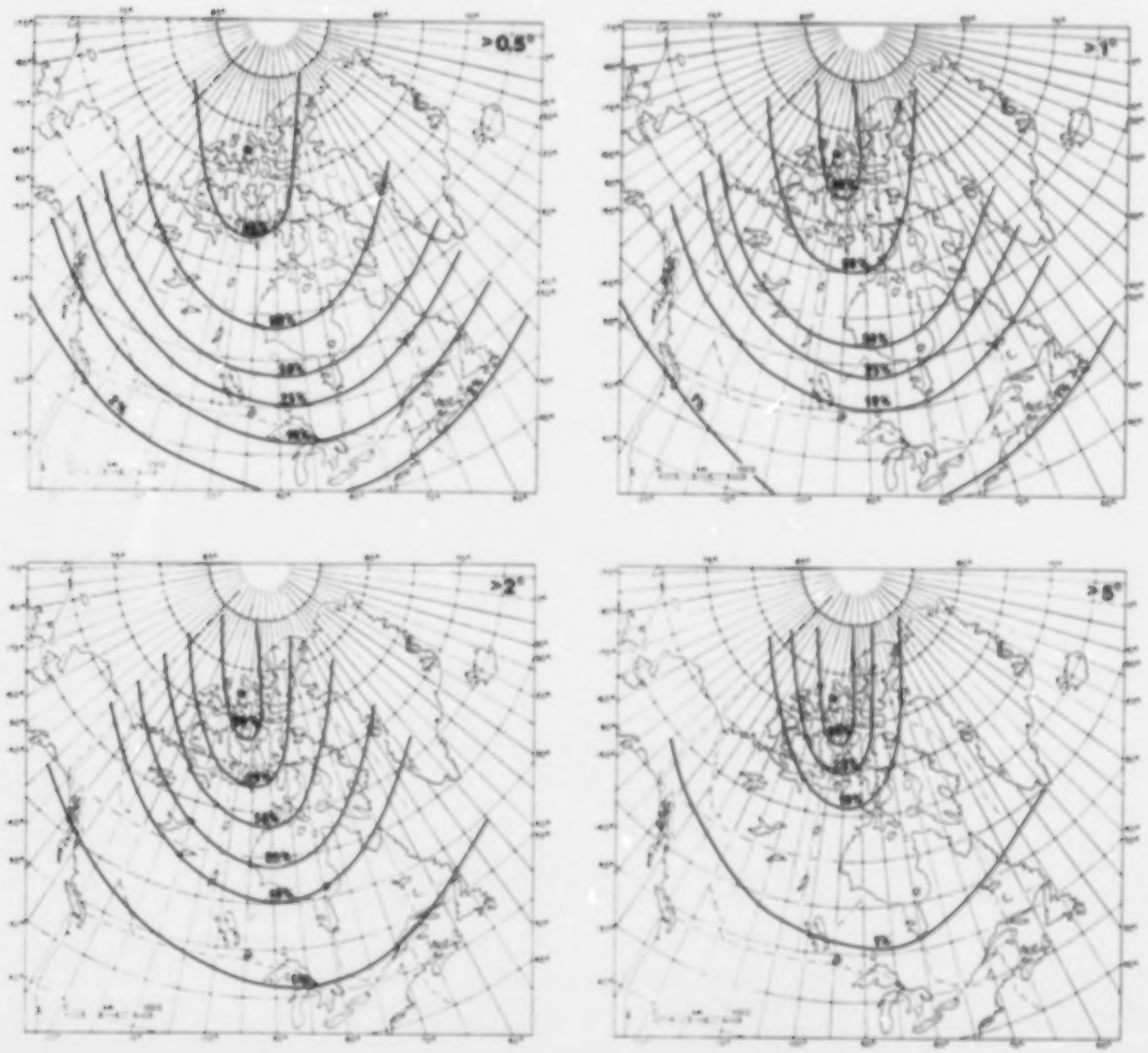

Figure 10. Probability that an observer will experience a fluctuation in magnetic declination anywhere in Canada in excess of (a) 0.5°, (b) 1.0°, (c) 2.0°, (d) 5.0°.

There is also a large increase in range in magnetic declination as one proceeds north, a result of the decreasing horizontal strength of the magnetic field. However, Table 1 indicates (looking at the positive and negative departures) that on the average, the magnetic declination should not depart from its normal value by an amount large enough to cause problems for the average compass user anywhere in southern Canada. Users of precision compasses must be concerned about fluctuations much smaller than 2 degrees. The average departures of over 20 minutes that occur at Meanook, near Edmonton, are thus a potential problem. In the Arctic regions, average departures are large enough to be of concern to most users. In those regions, users of mechanical compasses have the additional problem of compass unreliability due to frictional forces.

Even though the average departure of magnetic declination is typically small in southern Canada there are, nevertheless, occasions during magnetic storms when fluctuations in declination are large. Using the data from both 1976 and 1981, a diagram has been compiled (Fig. 9) showing the percentage of days on which the maximum difference between the actual declination and the normal value exceeded a given amount, at each of the five observatories. At Victoria, there was only one day in that two year period (0.137% of

days) on which the departure in declination was greater than 2 degrees. However, at the latitude of Yellowknife, in the auroral zone, departures of more than 2 degrees occurred on 17% of days. Smaller departures, which can nevertheless affect users of precision compasses, naturally occurred much more frequently. Figure 9 shows that even at low latitude stations such as Victoria, departures in excess of 0.3 degrees (18 minutes) occur on approximately 15% of days. At the latitude of Yellowknife, such departures were almost a daily occurrence.

The information contained in Table 1 and Figure 9 is more conveniently summarized for the user in Figure 10. This figure shows the probability of the magnetic declination departing from the normal value by more than a certain amount. For example, Figure 10a shows that at Winnipeg, declination departures of more than 0.5 degrees (30 minutes) occur on almost 25% of days. However, Figure 10c shows that departures in excess of 2 degrees occur on only 2% to 3% of days at Winnipeg.

CONCLUSION

In much of southern Canada changes in magnetic declination large enough (2 degrees) to be of concern to the average compass user are relatively rare, occurring only once every couple of years on the average. However, in and north of the auroral zone, the frequency of large departures increases rapidly, and can be a major source of error for compass navigation.

For users of high precision compasses, changes in magnetic declination must be of continual concern since changes in declination in excess of 0.5 degrees occur frequently even in much of southern Canada.

COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
RAPPORT DIVERS 52

EFFET DE LA VARIATION DE LA DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE SUR LA BOUSSOLE

L.R. Newitt

1991

Energie, Mines et Ressources Canada Energy, Mines and Resources Canada

Canada

L'ÉNERGIE DE NOS RESSOURCES

NOTRE FORCE CRÉATRICE

COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
RAPPORT DIVERS 52

EFFET DE LA VARIATION DE LA DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE SUR LA BOUSSOLE

L.R. Newitt

1991

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés et autres librairies

ou par la poste au

Groupe Communication Canada - Édition
Ottawa, Canada K1A 0S9

et aussi aux:

Bureaux de la Commission géologique du Canada,

601, rue Booth,
Ottawa, K1A 0E8

3303-33rd Street, N.W.,
Calgary (Alberta) T2L 2A7

Un exemplaire en consignation de la présente publication est également disponible dans les bibliothèques publiques à travers le Canada.

N° de catalogue M41-8/52
ISBN 0-660-56537

Prix sujet à changement sans avis préalable

Critique

R.L. Coles
G.V. Haines

Adresse de l'auteur

L.R. Newitt
Division de la Géophysique
Commission géologique du Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0E8

Manuscrit original reçu : 90-04
Version finale approuvée pour publication : 91-01

TABLE DES MATIÈRES

1 Introduction

1 Déclinaison magnétique et variation séculaire

3 Déclinaison magnétique et activité solaire

6 Fréquence des variations de déclinaison importantes

7 Conclusion

Figures

1 1a. Boussole d'orientation type composée d'une base, d'une logement muni d'un cadran tournant marqué de 0° à 360° et d'une aiguille aimantée.

1 1b. Champ magnétique qui serait produit autour d'un simple barreau aimanté placé au centre de la Terre.

2 2. Carte montrant des lignes d'égale déclinaison magnétique au Canada pour l'année 1990.

2 3. Variation séculaire de la déclinaison magnétique en certains endroits au Canada.

3 4. Variation type pour un jour calme de la déclinaison magnétique enregistrée à Ottawa le 13 octobre 1989. Les variations vers l'est sont vers la partie supérieure du diagramme; les variations vers l'ouest sont vers la partie inférieure du diagramme. L'échelle verticale représente la grandeur des variations de la déclinaison magnétique, en degrés d'arc. Ainsi, entre la crête et le creux de la courbe, une variation de 0,17° (10' d'arc) s'est produite. L'échelle horizontale représente l'heure, en temps universel.

3 5. Emplacement des observatoires magnétiques au Canada. Les cinq observatoires utilisés dans la présente étude sont situés à Victoria (VIC), Meanook (MEA), Yellowknife (YKC), Cambridge Bay (CBB) et Resolute Bay (RES). La carte montre aussi où se situent la zone aurorale et le pôle nord magnétique.

4 6. Variation de la déclinaison magnétique pendant un orage magnétique type, enregistrée à Ottawa le 20 octobre 1989.

4 7. Variation de la déclinaison magnétique pendant un sous-orage magnétique type, enregistrée à Fort Churchill le 4 novembre 1989. Remarquer le changement d'échelle par rapport à la figure 4.

4 8. Zone de manque de fiabilité de la boussole. La zone de grande densité de points représente la région dans laquelle une boussole est irrégulière. La zone de faible densité de points représente la région dans laquelle une boussole est inutile.

5 9. Le diagramme donne, pour chacun des cinq observatoires, le pourcentage de jours pour lesquels l'écart de la déclinaison magnétique par rapport à sa valeur normale dépasse la valeur indiquée sur l'axe horizontal.

6 10. Probabilité qu'un utilisateur observe, n'importe où au Canada, une fluctuation de la déclinaison magnétique supérieure à a) 0,5°, b) 1,0°, c) 2,0°, d) 5,0°.

Tableau

5 1. Amplitude quotidienne moyenne de la déclinaison magnétique au cours d'une année de calme (1976) et une année de perturbation (1981).

EFFET DE LA VARIATION DE LA DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE SUR LA BOUSSOLE

INTRODUCTION

La boussole est utilisée pour la navigation depuis des siècles. À une certaine époque, elle constituait le seul instrument fiable de navigation les jours où le soleil et les étoiles n'étaient pas visibles. De nos jours, il existe des instruments élaborés qui permettent aux utilisateurs de s'orienter avec précision et d'établir exactement leur position à quelques mètres près. Toutefois, malgré l'existence de ces instruments, la boussole est encore utile. Elle constitue encore le seul instrument pratique de navigation pour les petites embarcations et d'orientation pour les randonnées pédestres. Même les avions et les navires munis d'instruments plus élaborés disposent d'une boussole comme instrument de secours.

Les boussoles se présentent sous une variété de formes et de grosseurs, selon l'utilisation prévue. La boussole utilisée à bord d'un navire ou d'un avion est un instrument complexe capable d'introduire une correction pour tenir compte du mouvement du véhicule et de sa structure métallique. À l'opposé, on retrouve les petites boussoles de poche de faible précision destinées à un usage occasionnel. Un des types les plus populaires est la boussole d'orientation (fig. 1a), qui est largement utilisée par les amateurs de randonnée pédestre, de canotage et autres activités de plein air.

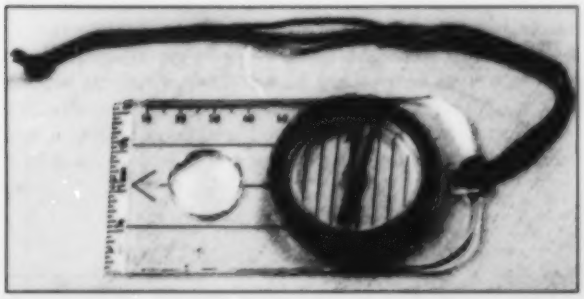

Figure 1a. Boussole d'orientation type composée d'une base, d'une logement muni d'un cadran tournant marqué de 0° à 360° et d'une aiguille aimantée.

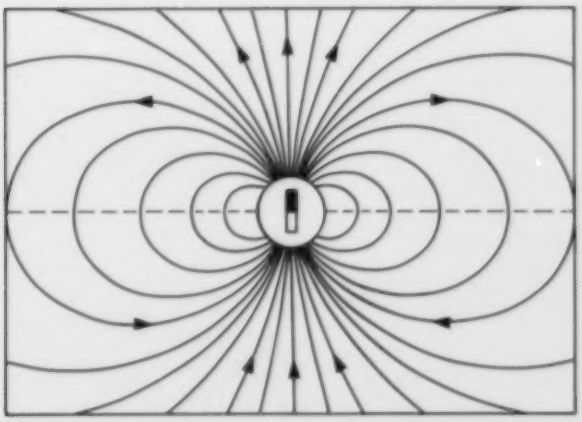

Figure 1b. Champ magnétique qui serait produit autour d'un simple barreau aimanté placé au centre de la Terre.

Quelle que soit l'application à laquelle elles sont destinées ou la complexité de leur construction, la plupart des boussoles fonctionnent suivant le même principe de base. Une petite aiguille allongée, aimantée en permanence, est placée sur un pivot de façon à pouvoir tourner librement dans le plan horizontal. La Terre possède un **champ magnétique** ayant à peu près la même forme que le champ créé autour d'un simple barreau aimanté (fig. 1b). Le champ magnétique de la Terre exerce une force sur l'aiguille de la boussole et la fait tourner jusqu'à ce qu'elle s'immobilise dans la même direction que le champ. Sur la plus grande partie de la surface de la Terre, cette direction correspond approximativement au nord, d'où l'importance initiale de la boussole en navigation.

Ce phénomène simple se complique en raison du fait que le champ magnétique varie constamment en intensité et en direction, ce qui entraîne une variation correspondante de l'orientation de l'aiguille de la boussole. Il existe par conséquent une incertitude fondamentale dans la navigation à la boussole qui peut être importante ou non, selon son application par l'utilisateur. Cet opuscule décrit certains aspects du champ magnétique qui peuvent avoir un effet sur la navigation à la boussole ainsi que la façon d'apporter une correction pour tenir compte de ces effets et obtenir quand même un direction exacte.

DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE ET VARIATION SÉCULAIRE

Bon nombre de personnes ne réalisent pas que l'aiguille d'une boussole ne pointe pas normalement en direction du nord vrai, mais dans une direction faisant un certain angle vers l'est ou vers l'ouest avec la direction du nord vrai. La direction dans laquelle pointe l'aiguille de la boussole est appelée le **nord magnétique**, et l'angle compris entre la direction du nord magnétique et la direction du nord vrai est appelé la **déclinaison magnétique**. La figure 2 est une carte simplifiée montrant des lignes d'égale déclinaison magnétique au Canada.

La déclinaison magnétique ne reste pas constante. En raison d'un mouvement complexe de fluide dans le noyau externe de la Terre (la région métallique en fusion qui se trouve sous la surface de la Terre à une profondeur de 2800 à 5000 km), le champ magnétique subit une lente variation continue appelée **variation séculaire**, ce qui entraîne une variation continue de la déclinaison magnétique. La figure 3 montre des exemples de la façon dont la déclinaison magnétique a varié en fonction du temps en différents endroits au Canada. En raison de la variation séculaire, les

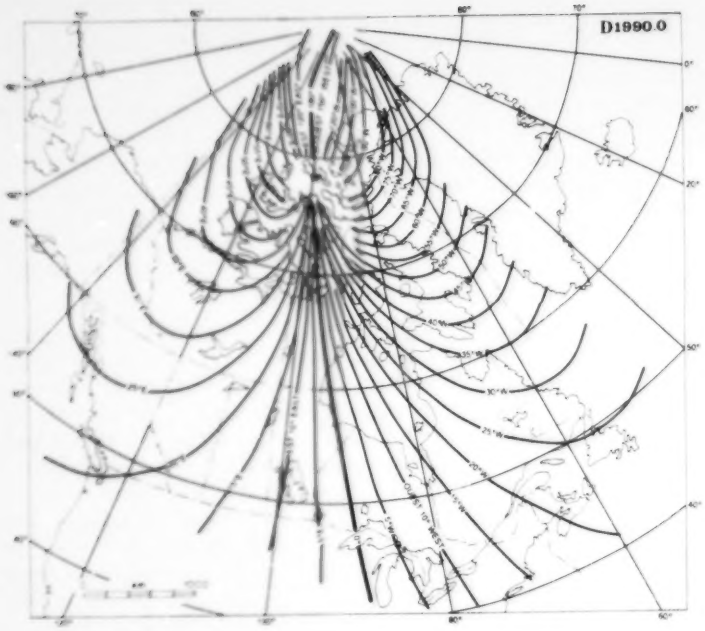

Figure 2. Carte montrant des lignes d'égale déclinaison magnétique au Canada pour l'année 1990.

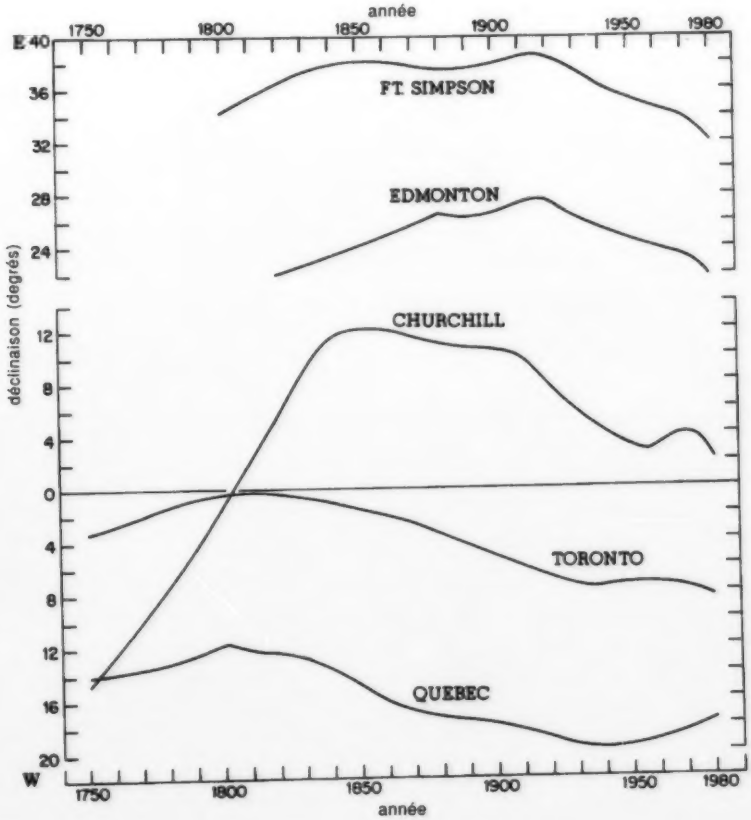

Figure 3. Variation séculaire de la déclinaison magnétique en certains endroits au Canada.

valeurs de la déclinaison données sur les anciennes cartes topographiques, marines et aéronautiques doivent être mises à jour si on veut éviter d'importantes erreurs. Malheureusement, les variations annuelles indiquées sur la plupart de ces cartes ne peuvent être appliquées de façon fiable lorsque les cartes datent déjà de quelques années, étant donné que la variation séculaire varie aussi en fonction du temps de manière imprévisible. Si des valeurs exactes de la déclinaison sont requises et si on ne dispose pas d'éditions récentes des cartes, on peut obtenir des valeurs à jour de la déclinaison en s'adressant à la Commission géologique du Canada, Division de la géophysique, 1, place de l'Observatoire, Ottawa (Canada), K1A 0Y3.

DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE ET ACTIVITÉ SOLAIRE

Le champ magnétique subit aussi des variations qui sont beaucoup plus rapides que la variation séculaire et qui sont dues à l'activité solaire. Les processus d'interaction du faisceau continu de particules provenant du soleil avec le champ magnétique de la Terre et la haute atmosphère sont très complexes, mais ils se traduisent par des fluctuations continues du champ magnétique et, par conséquent, par des variations de la déclinaison magnétique.

Les scientifiques utilisent de nombreuses classifications des fluctuations rapides du champ magnétique qui tiennent compte de facteurs comme la grandeur et la vitesse des fluctuations ainsi que les phénomènes physiques qui sont à leur origine. Cependant, l'utilisateur de boussole ordinaire n'a besoin de connaître que quelques-unes de ces classifications.

Même les jours où l'activité solaire est très faible, le champ magnétique subit une variation cyclique uniforme appelée **variation diurne**. La figure 4 montre la variation diurne type de la déclinaison magnétique pour l'Observatoire magnétique d'Ottawa. Ottawa fait partie de la zone sub-aurorale, une des trois zones qui sont caractérisées par des types nettement différents d'activité magnétique (fig. 5). Remarquer, à la figure 4, que la déclinaison magnétique est davantage vers l'est le matin et davantage vers l'ouest l'après-midi. Généralement, dans le sud du Canada, la variation maximale de la déclinaison magnétique sur une journée est de plusieurs minutes d'arc.

Un certain nombre de fois par année, le champ magnétique terrestre subit d'importantes perturbations appelées des **orages magnétiques**. Le déclenchement d'un orage magnétique se produit presque instantanément n'importe où sur la Terre, et l'orage peut durer plus de 48 heures.

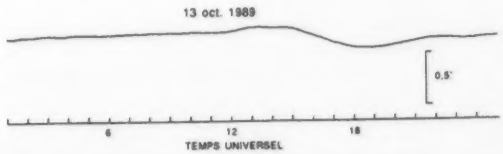

Figure 4. Variation type pour un jour calme de la déclinaison magnétique enregistrée à Ottawa le 13 octobre 1989. Les variations vers l'est sont vers la partie supérieure du diagramme; les variations vers l'ouest sont vers la partie inférieure du diagramme. L'échelle verticale représente la grandeur des variations de la déclinaison magnétique, en degrés d'arc. Ainsi, entre la crête et le creux de la courbe, une variation de 0,17° (10' d'arc) s'est produite. L'échelle horizontale représente l'heure, en temps universel.

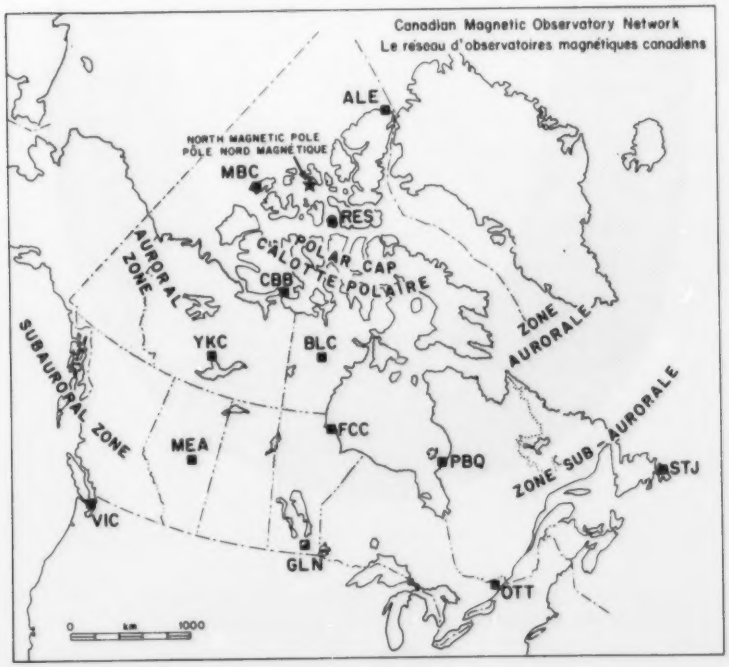

Figure 5. Emplacement des observatoires magnétiques au Canada. Les cinq observatoires utilisés dans la présente étude sont situés à Victoria (VIC), Meanook (MEA), Yellowknife (YKC), Cambridge Bay (CBB) et Resolute Bay (RES). La carte montre aussi où se situent la zone aurorale et le pôle nord magnétique.

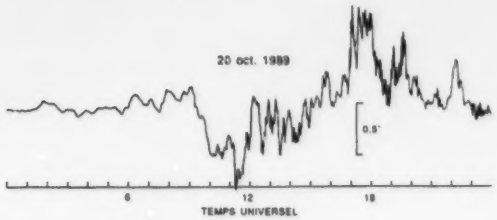

Figure 6. Variation de la déclinaison magnétique pendant un orage magnétique type, enregistrée à Ottawa le 20 octobre 1989.

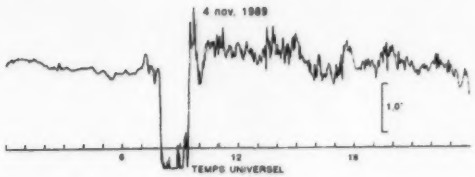

Figure 7. Variation de la déclinaison magnétique pendant un sous-orage magnétique type, enregistrée à Fort Churchill le 4 novembre 1989. Remarquer le changement d'échelle par rapport à la figure 4.

Les variations du champ magnétique produites pendant un orage sont différentes d'un endroit à l'autre et d'un orage à l'autre. Les variations de la déclinaison magnétique peuvent parfois être assez importantes pour être détectées à l'aide d'une boussole ordinaire, particulièrement aux latitudes élevées. Un observateur peut en fait voir une aiguille de boussole osciller lorsque la déclinaison varie. La figure 6 montre des variations de la déclinaison produites pendant un orage magnétique important.

En plus des orages magnétiques à l'échelle mondiale, des perturbations intenses de durée beaucoup plus courte se produisent très souvent dans la zone aurorale (voir fig. 5 pour l'endroit). Bien qu'elles ne durent normalement pas plus de quelques heures et qu'elles se produisent surtout la nuit, ces perturbations peuvent être très intenses (fig. 7).

Quelle que soit leur cause, les fluctuations rapides de la déclinaison magnétique deviennent plus importantes lorsqu'on se déplace vers le **pôle nord magnétique**, parce que la **force horizontale** du champ magnétique diminue lorsqu'on se déplace vers le pôle. C'est cette force horizontale qui pousse l'aiguille de la boussole à s'aligner avec la direction du champ magnétique. Lorque cette force est faible, les

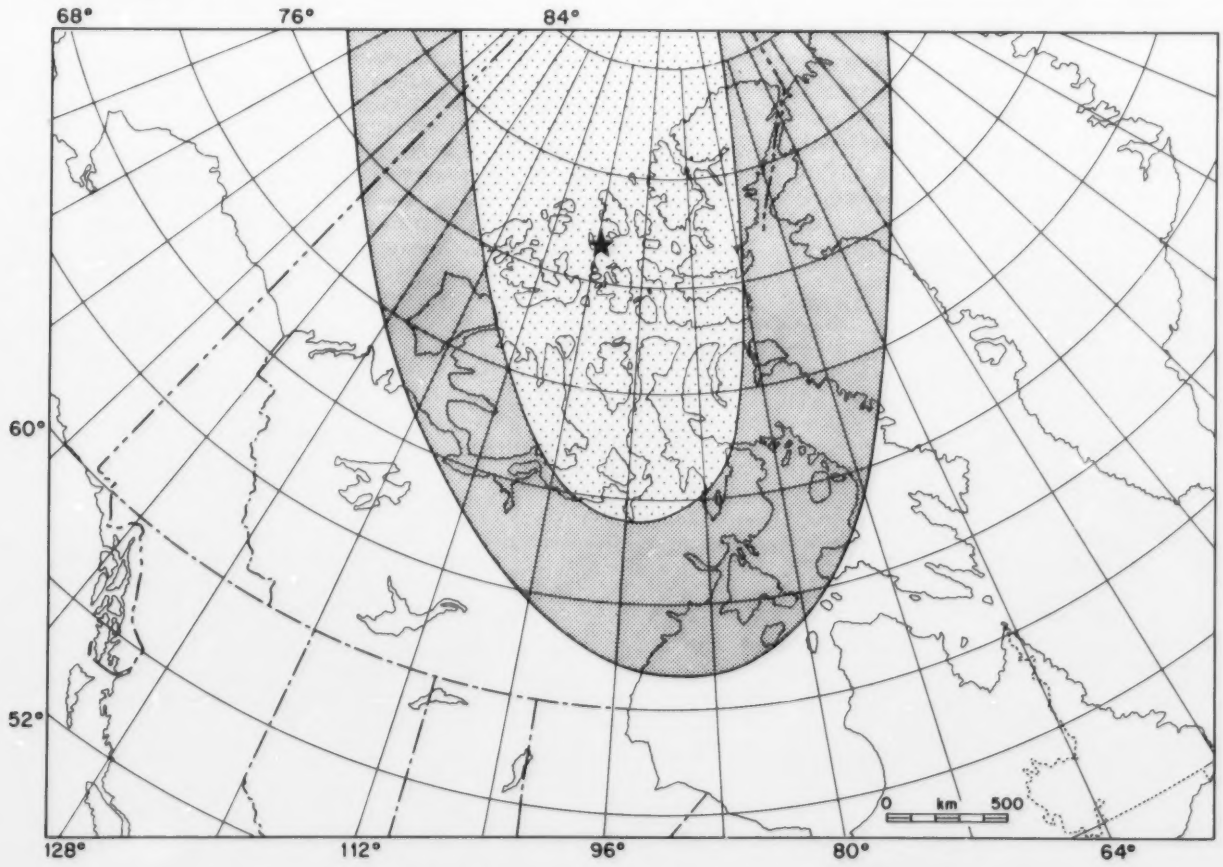

Figure 8. Zone de manque de fiabilité de la boussole. La zone de grande densité de points représente la région dans laquelle une boussole est irrégulière. La zone de faible densité de points représente la région dans laquelle une boussole est inutile.

variations du champ magnétique ont un effet relativement plus grand sur la déclinaison que l'effet produit plus au sud, où la force horizontale est grande.

Lorsque la force horizontale est trop faible, une boussole ordinaire devient inutile étant donné que les forces de frottement dans la boussole sont alors supérieures à la force horizontale du champ magnétique. En règle générale, les boussoles à pivot ordinaire cessent d'être fiables lorsque la force horizontale du champ magnétique est inférieure à 6000 nT et elles deviennent inutiles lorsque la force horizontale est inférieure à 3000 nT. Les régions correspondant à ces conditions sont représentées sur la figure 8. Dans certains avions, on utilise des magnétomètres à induction à la place des boussoles mécaniques car ils sont insensibles aux effets du frottement.

FRÉQUENCE DES VARIATIONS DE DÉCLINAISON IMPORTANTES

Combien de fois la déclinaison magnétique s'écarte-t-elle de sa valeur normale à un point tel que l'écart peut avoir des répercussions sur la navigation? La réponse à cette question dépend de l'endroit où on se trouve à l'intérieur du pays. Elle dépend aussi de la grandeur de l'erreur qui peut être tolérée dans une application donnée. Une boussole ordinaire, par exemple une boussole d'orientation ou une boussole du type qu'on utilise à bord d'un petit navire, a une marge d'erreur d'environ 2 degrés, par contre, certaines boussoles militaires et les boussoles d'arpenteurs, sont beaucoup plus précises, leur marge d'erreur étant de l'ordre de 5 minutes d'arc. Dès lors, les utilisateurs de ces boussoles de grande précision

Tableau 1. Amplitude quotidienne moyenne de la déclinaison magnétique au cours d'une année de calme (1976) et une année de perturbation (1981).

	1976			1981		
Station	Amplitude	pos.	nég.	Amplitude	pos.	nég.
Victoria	0°15′	0°08′	0°07′	0°20′	0°11′	0°08′
Meanook	0°39′	0°22′	0°17′	0°55′	0°28′	0°22′
Yellowknife	2°11′	1°09′	1°02′	2°01′	1°01′	1°00′
Cambridge	4°39′	2°31′	2°08′	5°26′	3°17′	2°09′
Resolute	18°39′	8°14′	10°25′	22°28′	10°32′	11°56′

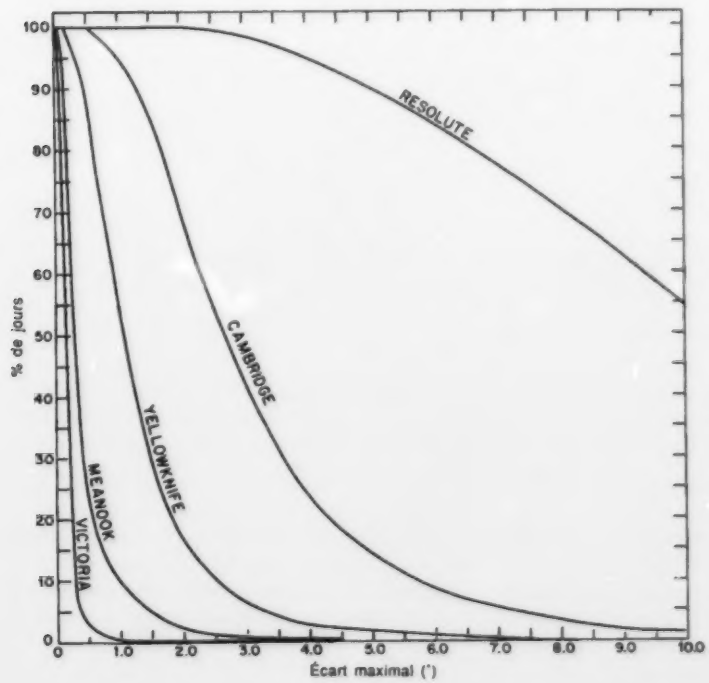

Figure 9. Le diagramme donne, pour chacun des cinq observatoires, le pourcentage de jours pour lesquels l'écart de la déclinaison magnétique par rapport à sa valeur normale dépasse la valeur indiquée sur l'axe horizontal.

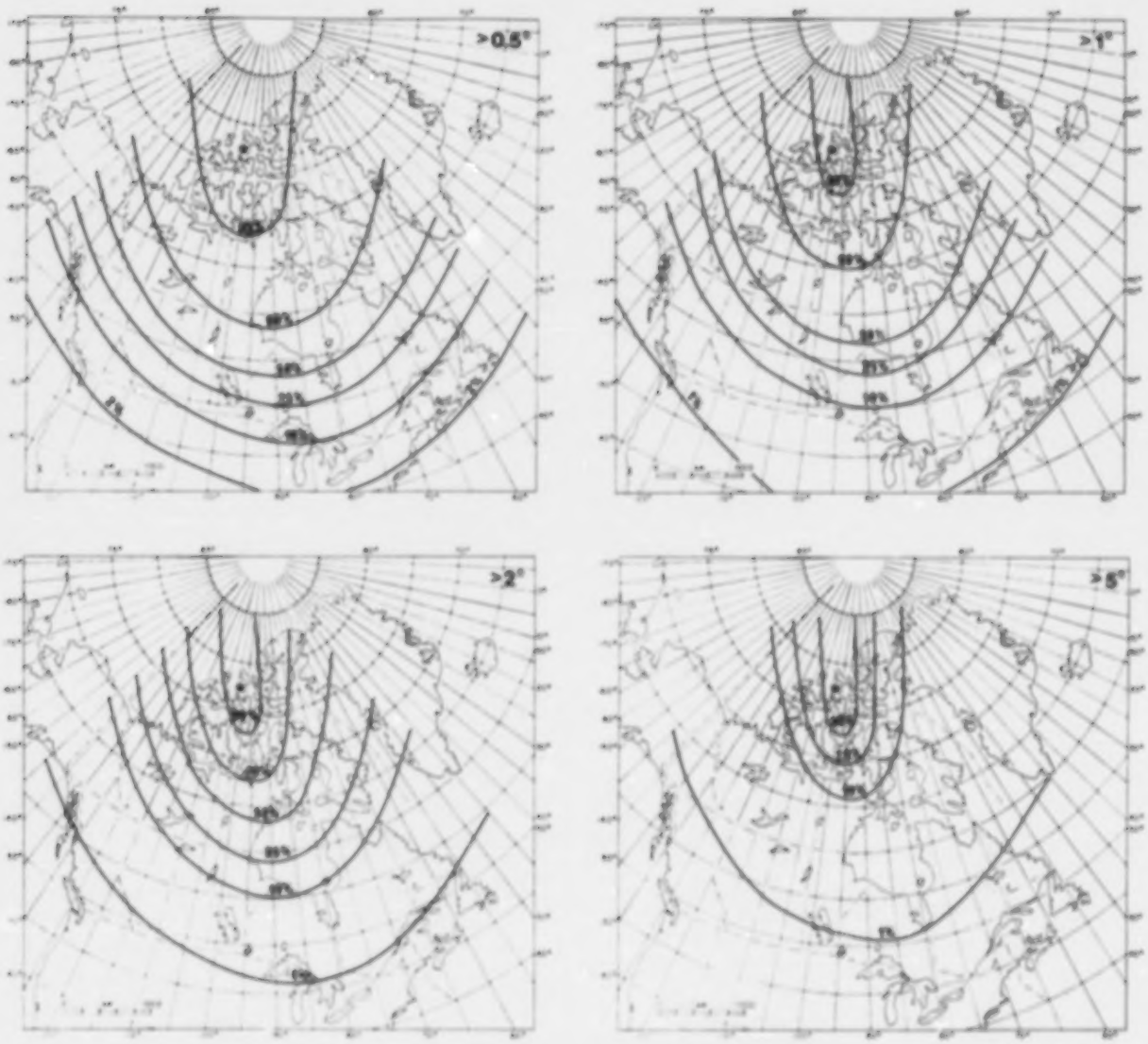

Figure 10. Probabilité qu'un utilisateur observe, n'importe où au Canada, une fluctuation de la déclinaison magnétique supérieure à a) 0,5°, b) 1,0°, c) 2,0°, d) 5,0°.

doivent porter une attention particulière à des variations de la déclinaison magnétique beaucoup plus faibles que les utilisateurs de boussoles ordinaires.

Afin de montrer les grandeurs des fluctuations de la déclinaison magnétique dans une variété d'endroits et de conditions, on a examiné les données de cinq des observatoires magnétiques représentés à la figure 5 (VIC, MEA, YKC, CBB, RES). On a examiné les données pour deux années complètes, 1976 et 1981, et on a calculé la différence entre les valeurs maximale et minimale de la déclinaison magnétique de chaque jour (amplitude quotidienne) ainsi que les écarts des valeurs maximale et minimale de la déclinaison par rapport à la valeur normale de chaque jour (appelés écarts positif et négatif). Les résultats obtenus sont résumés au tableau 1.

Le tableau montre que l'amplitude quotidienne est généralement plus grande en 1981 qu'en 1976, ce qui est dû au cycle d'environ 11 ans que subissent l'activité solaire et l'activité magnétique. Au moment de la rédaction de cet opuscule, le cycle actuel de l'activité a presque atteint sa crête.

On observe aussi un accroissement important de l'amplitude de la déclinaison magnétique lorsqu'on se déplace vers le nord en raison de la diminution de l'intensité horizontale du champ magnétique. Cependant, le tableau 1 montre (lorsqu'on observe les écarts positifs et négatifs) qu'en moyenne l'écart de la déclinaison magnétique par rapport à sa valeur normale ne doit pas être assez grand pour occasionner des problèmes à l'utilisateur de boussole ordinaire n'importe où dans le sud du Canada. Les utilisateurs de boussoles de précision doivent porter une attention particulière à des fluctuations beaucoup plus faibles que 2 degrés. Les écarts moyens supérieurs à 20 minutes observés à Meanook, près d'Edmonton, peuvent donc constituer un problème. Dans les régions arctiques, les écarts moyens sont assez grands pour mériter une attention particulière de la plupart des utilisateurs. Dans ces régions, les utilisateurs de boussoles mécaniques ont un problème additionnel, celui du manque de fiabilité des boussoles résultant des forces de frottement.

Même si l'écart moyen de la déclinaison magnétique est généralement faible dans le sud du Canada, il arrive pendant des orages magnétiques que les fluctuations de la déclinaison soient importantes. À partir des données de 1976 et 1981, on a construit un diagramme (fig. 9) montrant le pourcentage de jours pour lesquels la différence maximale entre la déclinaison réelle et la valeur normale dépassait une valeur donnée, à chacun des cinq observatoires. À Victoria, il y a eu une seule journée pendant cette période de deux ans (0,137 % des jours) pour laquelle l'écart de déclinaison a été supérieur à 2 degrés. Cependant, à la latitude de Yellowknife, dans la zone aurorale, on a observé des écarts supérieurs à 2 degrés pour 17 % des jours. Des écarts plus faibles, qui peuvent néanmoins avoir des répercussions pour les utilisateurs de boussoles de précision, ont naturellement été observés beaucoup plus souvent. La figure 9 montre que même aux stations à basse latitude, comme Victoria, des écarts supérieurs à 0,3 degré (18 minutes) sont observés pour environ 15 % des jours. À la latitude de Yellowknife, de tels écarts sont observés presque à tous les jours.

Les données du tableau 1 et de la figure 9 sont résumées de manière plus commode pour l'utilisateur à la figure 10. Cette figure montre la probabilité que l'écart de la déclinaison magnétique par rapport à la valeur normale dépasse une certaine valeur. Par exemple, la figure 10a montre qu'à Winnipeg des écarts de déclinaison supérieurs à 0,5 degré (30 minutes) sont observés pour presque 25 % des jours. Cependant, la figure 10c montre que des écarts supérieurs à 2 degrés sont observés pour seulement 2 à 3 % des jours à Winnipeg.

CONCLUSION

Dans la plus grande partie du sud du Canada, les variations de la déclinaison magnétique assez grandes (2 degrés) sont relativement rares pour que l'utilisateur de boussole ordinaire doive y porter une attention particulière; elles ne se produisent qu'un fois par deux ans en moyenne. Cependant, dans la zone aurorale et au nord de celle-ci, la fréquence d'écarts élevés augmente rapidement, ce qui peut constituer une source importante d'erreur dans la navigation à la boussole.

Les utilisateurs de boussoles de grande précision doivent porter continuellement une attention particulière aux variations de la déclinaison magnétique, étant donné que des variations supérieures à 0,5 degré se produisent fréquemment, même dans une grande partie du sud du Canada.